

**Titre de l'article :**

**Les paysans au cœur de la construction de règles collectives de gestion de l'agrobiodiversité.**

**Partnership with farmers to build collective rules of management of the agrobiodiversity.**

**NOM des auteurs :**

**Didier BAZILE**

CIRAD, UPR 47 "GREEN", F-34398 Montpellier - Email: [bazile@cirad.fr](mailto:bazile@cirad.fr)

**Géraldine ABRAMI**

CIRAD, UPR 47 "GREEN", F-34398 Montpellier - Email: [geraldine.abrami@cirad.fr](mailto:geraldine.abrami@cirad.fr)

**Souleymane DEMBELE**

IER, LaboSEP, Bamako, Mali - Email: [soulbn@yahoo.fr](mailto:soulbn@yahoo.fr)

**Christophe LE PAGE**

CIRAD, UPR 47 "GREEN", Bangkok, Thailand - Email: [christophe.le\\_page@cirad.fr](mailto:christophe.le_page@cirad.fr)

**Mathieu DIONNET**

CIRAD, UPR G-Eau, F-34398 Montpellier - Email: [mathieudionnet@yahoo.fr](mailto:mathieudionnet@yahoo.fr)

**Harouna COULIBALY**

IER, LaboSEP, Bamako, Mali - Email: [hscoulibaly@yahoo.fr](mailto:hscoulibaly@yahoo.fr)

**Résumé :**

Notre étude traite de la gestion locale des variétés de céréales au Mali dans un objectif de conservation de la biodiversité. Pour pallier aux insuffisances de l'Etat, un système informel basé sur les réseaux sociaux existants s'est développé pour approvisionner les paysans en semences. Il permet la gestion collective d'un grand nombre de variétés traditionnelles. Notre recherche cherche à améliorer les connaissances sur ce système semencier traditionnel et notamment sur le rôle des différents acteurs en jeu dans le maintien de la biodiversité. La méthodologie repose sur les concepts de la modélisation d'accompagnement. Sur la base d'hypothèses initiales issues d'un travail d'enquête sur la gestion paysanne des variétés, nous avons produit une série de modèles remis en question au cours d'ateliers successifs utilisant les jeux de rôles et les systèmes multi-agents. Le résultat de ce travail est un modèle qui servira à simuler, avec l'ensemble des acteurs, de nouvelles régulations dans le cadre de la gestion collective de la biodiversité des céréales.

Mots-clés : Mali, Biodiversité, Agriculture, Gestion collective, Modèle multi-agents

**Abstract:**

This study deals with cereals varieties local management and biodiversity preservation in Mali. The State is not able to provide the adequate seeds to the farmers which supplying mainly relies on seeds exchanges within existing social networks. This informal seed system operates a collective management of many traditional varieties. Our research aims at improving the knowledge on this traditional seeds system. We are particularly interested in identifying the potential and existing roles of the different stakeholders for biodiversity preservation. We use a methodology based on the concept of companion modeling. On the basis of initial hypotheses extracted from an extensive set of surveys, we have produced several successive models using Role-Playing Games and Agent-Based Systems. The process has evolved through the rendering and questioning of these models in specific workshops. The main result of this process is a global and generic agent-based model that will be used to simulate with the stakeholder new regulations for the collective management of cereals biodiversity.

Keywords: Mali, Biodiversity, Agriculture, Collective management, Agent-based models

## Introduction

Notre recherche s'inscrit dans l'étude du concept naissant d'agrobiodiversité qui vise à tracer les rapports entre la diversité biologique, environnementale et socioculturelle (Brookfield, 2001 ; Brookfield *et al.*, 2002), en se concentrant sur l'agriculture familiale dans les pays en voie de développement. Nous examinons les nombreuses manières dont les paysans exploitent la biodiversité pour la production agricole. Considérant que la science traditionnelle mono disciplinaire régnante souligne souvent les échecs des stratégies des petits paysans dans l'adaptation, l'innovation et le développement, l'étude de cas présente sur la diversité variétale des sorghos au Mali apporte une contribution valable pour excentrer cette tendance. Une approche interdisciplinaire donne l'évidence claire que les exploitants agricoles s'engagent dans des stratégies diverses de systèmes de culture adaptées aux contraintes de leur exploitation. Ces stratégies déterminent les fondements pour la conservation présente et future des ressources biologiques. La prise en compte exhaustive des parcelles cultivées d'un village permet de recenser l'ensemble des cultivars présents mais, c'est au final la multiplicité des stratégies des paysans qui dessine la richesse du patrimoine biologique du village et l'inscrit dans la logique de diversité culturelle propre aux sociétés agricoles des pays du Sud. C'est donc en analysant comment et pourquoi les agriculteurs choisissent leur portefeuille de variétés que nous pouvons comprendre les mécanismes de gestion en jeu et chercher à les améliorer.

Dans un contexte de décentralisation et de mondialisation, la recherche conduite dans un espace quasi non marchand montre l'importance du lien entre les échelles spatiales pour appréhender les dynamiques locales (paysan, communauté) et nationales autour de la circulation et de la gestion des ressources communes. Dans la perspective du développement durable, les modalités de la gestion concertée des ressources offrent de multiples configurations avec une pluralité d'acteurs, d'outils, de représentations et les modèles multi-agents favorisent le dialogue entre des points de vue divergents. La présente étude cherche à dépasser le simple processus de prise de décision du paysan dans le choix des variétés, à l'échelle de son exploitation, pour comprendre le fonctionnement global du système semencier et notamment l'articulation entre les différents acteurs impliqués dans les échanges de semences. Elle doit d'abord nous amener à la formalisation des liens existants entre le paysan (en tant qu'entité individuelle) et son environnement (au sens large) puis, à la formalisation des règles de choix et des stratégies expliquant les changements dans les variétés semées.

Après avoir resitué le contexte et les objectifs de ce travail, nous présentons la démarche générale de modélisation d'accompagnement qui sous-tend notre méthodologie, ainsi que les outils que nous utilisons : les jeux de rôles et les systèmes multi-agents. Nous détaillons ensuite l'évolution de notre compréhension du système aux différentes étapes du processus de recherche: formalisation des hypothèses issues d'enquêtes de terrain dans un modèle multi-agent expert initial; désagrégation de la représentation dans trois jeux de rôles portant sur les différents modules de décision qui permettent de caractériser les liens du paysan à son environnement ; intégration des nouvelles hypothèses issues des ateliers de jeux dans un modèle multi-agent global à portée générique. Nous concluons alors sur la manière dont ce modèle, après avoir été validé et paramétré par les paysans, nous permettra d'explorer et de construire nouvelles règles de gestion des semences via la simulation des dynamiques d'évolution des variétés au sein des villages.

## Contexte et objectifs

La diversité des ressources phytogénétiques constitue la base biologique de la sécurité alimentaire mondiale car elle fournit des moyens de subsistance à tous les habitants de la planète (FAO, 1999 et 2001 ; Wood & Lenne, 1999). Ces ressources sont la matière première la plus importante pour le sélectionneur et l'intrant le plus essentiel à l'agriculteur; elles sont donc indispensables à la durabilité des systèmes agricoles. Beaucoup de ressources phytogénétiques en agriculture sont le résultat d'une intervention de l'homme et plus récemment les sélectionneurs ont exploité cette diversité avec des effets remarquables sur l'amélioration des variétés. La plus grande diversité *in situ* des plantes alimentaires est concentrée dans des régions particulières du monde, très souvent différentes des zones riches d'autres formes de biodiversité. Ces "centres de diversité" en agriculture restent néanmoins largement situés dans les pays en développement où l'agriculture traditionnelle a permis de conserver une diversité de milieux exploités (BOERMA, 2004). La viabilité des ressources génétiques en agriculture nécessite une gestion humaine, active et continue. Ainsi depuis la Convention de Rio sur la Biodiversité (UNEP, 1993), le maintien de la diversité des pratiques humaines apparaît de plus en plus comme une solution pour la conservation d'une diversité élevée dans la biosphère. Cette exigence de co-viabilité des systèmes écologiques et sociaux conduit à s'interroger sur les pratiques et les innovations des usagers locaux des ressources naturelles qu'ils soient individuels mais aussi collectifs/institutionnels. Les conséquences de leurs actions sont alors analysées en termes de dynamique de la biodiversité et de dynamique sociale et économique. Les politiques de conservation de la biodiversité en tant que démarche de gestion sont désormais au centre des préoccupations de la recherche : plutôt que d'évaluer l'état de la biodiversité, il faut comprendre et gérer l'accès partagé à ces ressources.

Les semences fournissent les matières premières à la production agricole et sont un réservoir d'adaptabilité génétique. C'est pourquoi les systèmes semenciers paysans sont centraux à la fois pour la durabilité de la production agricole et pour la conservation de la diversité biologique *in situ*. Dans beaucoup de régions de l'Afrique occidentale, les paysans comptent sur la diversité des variétés locales pour répondre à la diversité des milieux cultivés et aux changements environnementaux. Ces variétés continuent d'évoluer en permanence sous l'effet de pressions de sélection humaine et environnementale, de flux de semences au sein des réseaux d'échanges et de choix formés par des identités socioculturelles différentes. Ces processus participent à la conservation dynamique du patrimoine génétique et ainsi à la création de la nouvelle variabilité génétique d'importance globale. Au Sahel, les agriculteurs ont essentiellement recours à des systèmes semenciers informels, conçus autour de leur propre production de semences (Almekinders *et al.*, 1994). Même s'ils sont méconnus, ils participent à plus de 90% à l'approvisionnement de proximité en semences de céréales. Ils sont aujourd'hui confrontés au renforcement formalisé, habituellement commercial, des systèmes nationaux de production des semences (Almekinders et Louwaars, 2002). Les tendances globales mettent en avant de façon systématique la valeur marchande du vivant [dont les variétés] oubliant ainsi les mécanismes d'échanges qui sont partie intégrante de la vie des communautés paysannes dans les zones à risque climatique des tropiques semi-arides. Les paysans ont maintenu leur système local parce qu'il est en mesure de leur apporter plus de sécurité et de productivité que le système semencier national grâce à un fonctionnement susceptible d'entretenir une plus grande diversité. Néanmoins les paysans peuvent accéder aux variétés du Système Semencier National dès lors qu'elles répondent à leurs besoins et objectifs d'approvisionnement en semences.

Actuellement, la gestion des semences par le paysan et l'amélioration des variétés par les chercheurs ont beaucoup de difficultés à trouver des points de rencontre. Les différents acteurs impliqués dans la conservation de l'agrobiodiversité (chercheurs, développeurs et

paysans) ont pourtant tous besoin d'intégrer les savoirs scientifiques et locaux dans une représentation partagée du système semencier. Ceci est indispensable pour bâtir un programme cohérent et partagé par ces différents acteurs pour que le maintien *in situ* de la diversité repose sur les valeurs socio-économiques et culturelles des pays africains. L'objectif général du projet de recherche présenté est de renforcer notre capacité commune (paysans et chercheurs) à évaluer l'effet des pratiques de gestion des semences sur le maintien de la diversité variétale.

## **Méthodes et outils**

Le travail présenté dans ce papier est issu des études portées par le CIRAD<sup>1</sup> au sein de trois projets: le projet « *Agrobiodiversité du sorgho au Mali et au Burkina Faso* » financé par le FFEM<sup>2</sup> (2002-2006), le projet « *Modélisation multi-agents des réseaux d'échange de semences pour améliorer la conservation in situ des variétés locales de céréales en Afrique de l'Ouest* » financé par le BRG<sup>3</sup> (2005-2007) et le projet « *Vers une autonomie des agriculteurs sahéliens dans la gestion et l'exploitation de la diversité agricole, pour l'amélioration de leurs stratégies de subsistance* » financé par le FIDA<sup>4</sup> (2005-2007).

La méthodologie générale repose sur le développement, via une démarche de modélisation d'accompagnement, d'un modèle du système semencier capable de représenter la diversité des situations agricoles présentes au Mali. Ce modèle doit permettre de caractériser les circuits d'approvisionnement en semences et l'accessibilité des paysans au sein de la communauté à la diversité des variétés. Le souci de développer un modèle multi-agents intégrant dès sa conception des éléments susceptibles d'augmenter la généralité et l'adaptabilité du modèle a été pris en compte en travaillant à plusieurs échelles et sur différents sites.

## ***Les sites d'étude***

Dans le souci de prendre en compte au mieux la diversité des situations agricoles du Mali, les sites d'étude s'étalent sur tout le gradient nord-sud de la zone de culture du sorgho pluvial au Mali (de 16°N à 11°N). Les enquêtes portent sur une trentaine de village avec des études approfondies sur 5 sites pilotes entre Gao et Sikasso. Les différents ateliers organisés au cours de cette recherche ont eu lieu en interaction avec ces 5 villages.

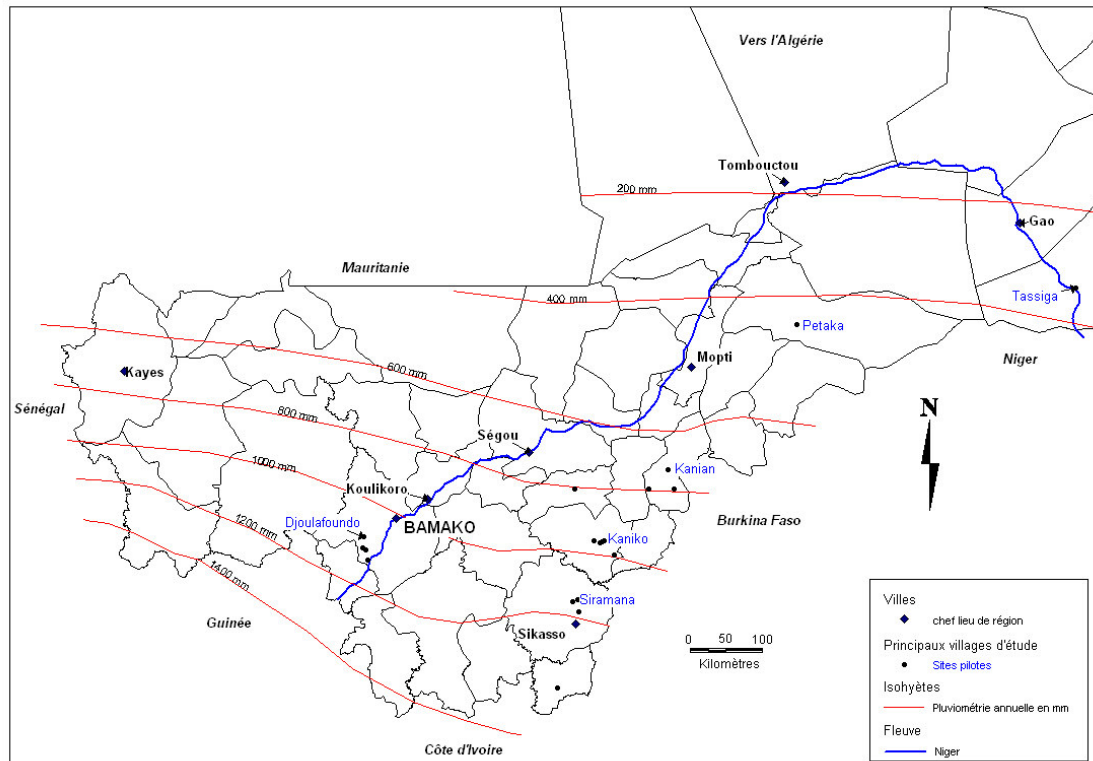
---

<sup>1</sup> Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

<sup>2</sup> Fond Français pour l'Environnement Mondial

<sup>3</sup> Bureau des Ressources Génétiques

<sup>4</sup> Fonds International pour le Développement Agricole



*Figure 1 : Localisation au Mali des principaux sites d'étude*

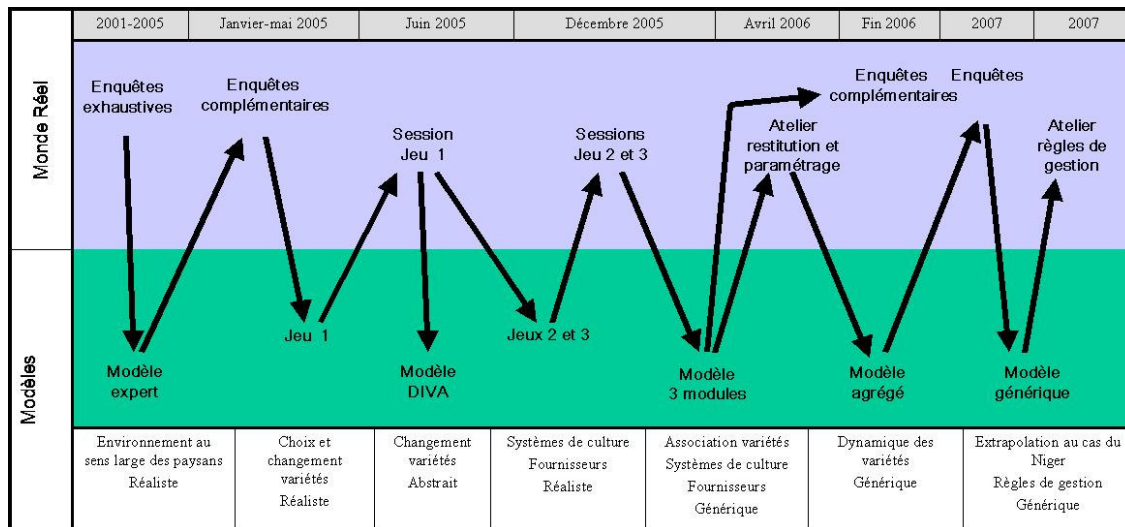
### **La modélisation d'accompagnement**

La modélisation d'accompagnement est une démarche mise au point par un collectif de chercheurs issus de différentes disciplines (Bousquet *et al.*, 2002 ; Antona *et al.*, 2003). Elle vise à faciliter des processus collectifs de décision sur la gestion de ressources naturelles en s'appuyant sur la formalisation des points de vue et des critères subjectifs auxquels se réfèrent les différentes parties prenantes. Cette formalisation s'opère dans différents modèles construits au cours de cycles itératifs permettant la remise en question continue des représentations. Un cycle de modélisation d'accompagnement comporte typiquement trois étapes : 1. synthèse des connaissances existantes 2. formalisation dans un modèle 3. simulation et confrontation aux parties prenantes.

Nous avons utilisé dans notre démarche les outils de prédilection de la modélisation d'accompagnement que sont les systèmes multi-agents (SMA) et les Jeux de Rôles (JdR). Le processus que nous avons initié peut se résumer ainsi :

- mobilisation des données d'enquêtes obtenues à l'échelle de l'exploitation agricole sur une trentaine de villages pour construire l'architecture d'un modèle multi-agent expert (octobre 2004);
- identification des lacunes pour mener des enquêtes complémentaires et formalisation des hypothèses établies dans un premier JdR (jeu 1) ;
- mise en oeuvre du Jeu 1 lors d'un atelier en juin 2005 : construction de nouvelles hypothèses sur les stratégies paysannes d'association de variétés (module 1);
- identification de deux autres modules qui permettent de caractériser les liens entre le paysan et son environnement par rapport à la gestion des variétés : influence des systèmes de culture sur le choix des variétés (module 2) et importance des aspects sociaux et spatiaux dans les échanges de semences (module 3). Formalisation des hypothèses correspondantes dans deux JdR (jeux 2 et 3) ;

- mise en oeuvre des jeux 2 et 3 lors d'ateliers en décembre 2005 : révision des hypothèses ;
- formalisation et généralisation des différents éléments issus des étapes précédentes dans un SMA comportant 3 modules correspondant aux 3 JdR.
- mises en situation du SMA au cours d'un atelier en avril 2006 : analyse et discussion des similarités et des différences propres à chacune des situations agricoles retenues en réunissant des représentants paysans de 5 villages.



*Figure 2. Démarche itérative de la modélisation d'accompagnement développée au Mali*

L'objectif final du processus est d'aider à la décision collective d'une part pour produire et proposer de nouvelles règles de gestion et, d'autre part pour aider à la négociation et faciliter la concertation en utilisant les simulations comme support de discussion. C'est pourquoi nous parlons de modélisation d'accompagnement. La modélisation est participative dans le sens où il s'agit d'une co-construction, avec tous les acteurs impliqués dans la filière semencière, de mécanismes favorables à la préservation de la diversité variétale des céréales ouest africaines. A l'issue de ce processus, nous disposons d'un modèle informatique, issu d'un processus itératif de partage des connaissances avec les paysans, qui constitue une vision globale abstraite de la gestion de l'agrobiodiversité. L'étape suivante est d'utiliser ce modèle comme support pour innover en partenariat et proposer de nouvelles règles de gestion collective capables de maintenir la diversité dans le contexte actuel d'intensification de l'agriculture.

### **Enquêtes**

Un travail colossal d'enquêtes a été conduit durant 4 années au Mali avec pour objectif principal la caractérisation des écosystèmes à base de sorgho (tableau I). L'identification des variables constituant l'environnement des systèmes de cultures à base de sorgho a été conduite autour de trois axes : 1- l'analyse socio-économique des agroécosystèmes céréaliers ; 2- l'analyse agronomique de la culture du sorgho ; et 3- l'analyse de la biodiversité du sorgho et des facteurs relatifs à son évolution. Cette approche classique a été couplée avec la création d'un système spatialisé d'information sur l'environnement du sorgho intégrant la caractérisation bioclimatique du pays et les résultats d'un zonage agroécologique. Une cartographie détaillée des sites pilotes à l'échelle des territoires villageois a été conduite avec comme objectif de préciser la place de la diversité variétale du sorgho dans les stratégies d'assolement. L'analyse des modes de culture du sorgho s'appuie alors sur le choix des

variétés en fonction des facteurs de l'environnement. L'approche spatiale permet de bien prendre en compte l'abondance des différentes variétés au-delà d'une simple liste représentant une richesse variétale.

<i>Objectif de l'enquête</i>	<i>Régions concernées</i>	<i>Taille de l'échantillon</i>	<i>Période d'enquête</i>
Caractériser les systèmes de production	Ensemble du Mali agricole	6190 exploitations sur 124 villages	2001 à 2003
Définir les critères paysans de choix variétaux	3 villages représentant 3 régions	Diagnostic participatif en assemblée villageoise suivi d'entretiens individuels avec 30% des paysans	2003
Analyser le nombre de variétés de céréales (mil, sorgho, maïs) semées par exploitation	6 régions	1775 exploitations sur 31 villages	2003
Décrire les modes de cultures du sorgho et du maïs : itinéraire technique détaillé par variété et par type de sol	1 village * 3 régions	73 exploitations agricoles, 200 parcelles suivies par an	Suivi sur 4 années consécutives (2002-2005)
Comparer dans un réseau d'essais multi locaux l'adaptation de variétés de sorgho issues de la recherche avec un témoin local sorgho et un maïs	1 village * 3 régions	10 paysans par village	2003, 2004 et 2005
Analyser les choix variétaux dans le calendrier cultural	1 village	35 exploitations, 380 parcelles suivies à 3 dates d'installation des cultures	2003
Suivre la démographie des variétés (introduction, culture, abandon)	2 villages * 4 régions	Enquête exhaustive des exploitations	2003 et 2004
Analyser les réseaux d'échanges de variétés	4 villages représentant 4 régions	Enquête exhaustive des exploitations	2004
Caractériser les pratiques de sélection des semences	2 villages représentant 2 régions	Echantillon : 50% des exploitations	2004
Comprendre les critères de changement de variétés	2 villages représentant 2 régions	Echantillon : 40% des exploitations	2005

*Tableau I : Enquêtes réalisées au Mali de 2001 à 2005*

### ***Les jeux de rôles***

Le jeu de rôle correspond à la mise en scène d'une situation complexe dans un espace contrôlé. Le jeu est construit comme un modèle, ou archétype de la réalité, ce qui permet de prendre de la distance avec le monde réel. Il sert de médiateur avec une réalité parfois difficile à formuler pour un paysan lors des enquêtes et dans ce cas, l'aspect ludique du jeu favorise les échanges d'information. Les jeux de rôles mis en place au Mali répondent à un objectif principal, celui d'améliorer notre connaissance [ou représentation du système] en la partageant pour la remettre sans cesse en question. Ils sont construits sur la base des résultats et hypothèses issus des enquêtes et des ateliers successifs de JdR (tab. II):

- le Jeu 1 visait à restituer les déterminants du choix et du changement de variétés en mettant les paysans en situation dans des exploitations virtuelles soumises à des contraintes climatiques accentuées. Il a permis d'identifier des stratégies archétypales d'association de variétés, mais aussi un manque de connaissances sur l'influence des systèmes de cultures et des rotations, ainsi que sur les différentes modalités d'approvisionnement en semences ;



- le Jeu 2 s'est alors intéressé spécifiquement aux systèmes de cultures et aux rotations. Il nous a permis de simplifier la représentation des contraintes agroclimatiques pesant sur les exploitations ;
- le Jeu 3 s'est intéressé aux contraintes spatiales et sociales pesant sur la recherche de semences. Il a permis d'identifier différents types de fournisseurs correspondant à des modes de recherche spécifiques.

Jeux de rôles	J1 Système de production	J2 Système de culture	J3 Fournisseurs
Question posée	Assurer la sécurité alimentaire de la famille	Définir l'assolement de l'exploitation en respectant la succession des cultures	S'adapter au changement climatique en renouvelant, si nécessaire, ses variétés
Objectif général	Analyser les comportements de gestion des variétés de sorgho selon les types d'exploitations	Comprendre le choix des variétés de mils et de sorghos dans le temps et l'espace	Caractériser les modalités d'accès aux semences en fonction des fournisseurs
Joueurs	12 joueurs (diversité des systèmes de production, liens familiaux) Exploitation identique à la leur.	15 joueurs (3 tailles d'exploitations sur 3 sols contrastés) Exploitation « modèle » correspondant à la taille de la leur et sur un seul sol.	10 joueurs (diversité des types de systèmes de production, liens familiaux) 3 rôles: chef de village, organisation paysanne et détenteur des savoirs traditionnels. Les joueurs jouent leur rôle et leur exploitation.
Espace	Tables pour les groupes familiaux. Maquette du village comme espace collectif.	3 tables pour chaque groupe de 5 exploitations cultivant sur un même sol	2 tables réunissant sur un même sol 5 exploitations. 1 table pour les types de fournisseurs extérieurs au village. Chaises en cercles pour chaque groupe familial.
Déroulement du temps	Année agricole découpée en 3 pas de temps : annonce de la saison climatique, récolte et sélection des semences, saison sèche	Pas de temps annuel avec annonce de l'année climatique	Année agricole scindée en 4 pas de temps : annonce de la saison climatique, récolte et sélection des semences, échanges familiaux, saison sèche. Carte d'évènements
Date réalisation	Juin 2005	Décembre 2005	Décembre 2005

*Tableau II : Principales caractéristiques des jeux de rôles mis en place au Mali*

Les jeux de rôles représentent toujours une certaine part de la réalité quel que soit le niveau d'abstraction retenu. C'est pourquoi afin de faciliter l'appropriation par les paysans de l'environnement virtuel proposé, nous y avons inclus des éléments de contexte du monde réel : structure de l'exploitation agricole, famille, surface, appellations locales, etc.. On parle alors de réalité explicite : le jeu offre une représentation réaliste des acteurs, des ressources et des configurations spatiales rencontrées par les paysans dans la réalité. Le paysan joue son exploitation avec les caractéristiques qu'il lui connaît : surface cultivée, équipement, population active, bouches à nourrir, cultures, etc.

Un atelier de jeu s'organise en 3 temps : présentation des objectifs, du matériel et des règles du jeu aux paysans; séance de jeu proprement dite animée par un intervenant familier des joueurs; analyse collective de la séance de jeu. C'est durant cette dernière phase que les joueurs sont amenés à critiquer notre représentation du système. Le support du jeu facilite la concertation entre acteurs car il y a eu auparavant mise en commun et confrontation de nos représentations. De plus, l'espace du jeu met une certaine distance avec leur exploitation

agricole de référence ce qui permet aux paysans de parler plus librement de leurs actions dans le jeu en expliquant bien le processus de prise de décision. L'étape d'analyse du jeu est un moment fort où il est possible de procéder à un changement d'échelle entre la décision individuelle et la décision collective.

### ***Les SMA***

Les Systèmes Multi Agents (SMA) sont issus du domaine de l'intelligence artificielle distribuée qui cherche à résoudre les problèmes par la coordination d'agents hétérogènes indépendants. Un agent se définit comme « *un système informatique situé dans un environnement et capable d'actions autonomes dans le but d'atteindre ses objectifs* » (Wooldridge, 1999). L'environnement est constitué des objets et ressources accessibles aux entités et peut prendre la forme d'une grille spatiale. Les agents perçoivent leur environnement, les autres agents et s'en construisent des représentations. Utilisant des capacités de raisonnement plus ou moins évoluées, ils agissent alors en modifiant l'environnement ou en communiquant avec les autres agents. Les SMA sont adéquats pour la simulation de formes de coordination observables sur le terrain. Ils peuvent être utilisés dans des applications diverses mais ils sont particulièrement utiles dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables, car bien adaptés à l'étude de problèmes intégrant des dynamiques naturelles et sociales (Bousquet et Le Page, 2004).

La modélisation multi-agents permet de simuler les changements de règles de gestion et de comprendre les effets superposés des stratégies individuelles et des règles collectives. C'est dans ce cadre que nous avons utilisé les modèles comme outils de médiation et de partage de la connaissance pouvant servir de support au questionnement. L'objectif étant de réfléchir à des techniques, règles ou attitudes favorables au maintien de la diversité génétique *in situ* et notamment de déterminer l'échelle la plus adéquate pour définir des règles relatives à la conservation *in situ* des variétés de céréales.

La formalisation du système semencier dans des systèmes multi-agents s'est construite selon une démarche itérative où enquêtes et jeux de rôles alternent avec les phases de construction des modèles. Le passage du monde observé au modèle conceptuel suit des boucles et trois modèles multi-agents ont ainsi été produits :

- un premier modèle « expert », et réaliste, synthétisait l'ensemble des hypothèses issues du travail d'enquête mais il était trop complexe pour envisager une restitution directe aux paysans. Ce modèle a permis d'identifier nos lacunes à la base du travail d'enquête complémentaire ayant mené au Jeu 1 ;
- un second modèle abstrait formalisant les comportements des joueurs lors du Jeu 1. Ce modèle a une portée exclusivement théorique : il a permis d'explorer par la simulation le déroulement de ces comportements sur un pas de temps long afin de renforcer nos hypothèses ;
- un troisième modèle à portée générique en reprenant dans des modules indépendants chacune des modalités de prise de décision identifiées au cours des trois ateliers de jeux. Chacun des modules a été validé et paramétré par les paysans. Il s'agit maintenant de ré agréger ces modules pour simuler des règles émergentes.

	Modèle EXPERT	Modèle DIVA	Modèle à 3 MODULES
<b>CLIMAT</b>			
Paramètres	Ø	Facteur d'impact sur le rendement (entre 0 et 1)	Date d'arrivée des pluies Cumul de précipitation
Dynamiques	Ø	Généré aléatoirement	Lecture de séries climatiques
Données	Ø	Ø	Séries climatiques historiques Appréciation année paramétrée par les utilisateurs
<b>CULTURE</b>			
Paramètres	Type de culture (coton / maïs / sorgho / mil / autres / jachère) Parcelle (surface, localisation)	1 seule culture : le sorgho	Type de culture (coton / maïs / sorgho / mil / autre) Surface dans l'exploitation
<b><i>VARIETE</i></b>			
Paramètres	Nom des variétés de la région Probabilité initiale de présence	5 variétés abstraites Rendement maximal 4 caractéristiques abstraites	Cycle: précoce, moyen, tardif Nom de 3 variétés par type
Dynamiques	Ø	Rendement selon climat	Matrice de gain f(type/climat)
Données	Statistiques issues des enquêtes*	Génération aléatoire des caractéristiques Fonction théorique d'impact du climat	Caractérisation qualitative de l'écologie des variétés de sorgho

\*Les statistiques utilisées dans le modèle expert sont basées sur 3 zones géographiques : San, Koutiala et Sikasso

*Tableau IIIa : Niveau de réalisme, paramètres et dynamiques pour les entités naturelles dans chacun des 3 modèles produits*

	Modèle Expert	Divia	Modèle à 3 Modules
<b>TERRITOIRE</b>			
Paramètres	Texture, Pente et Profondeur des sols	Territoire uniforme	2 types de sol
Dynamiques	Priorité de défriche	Ø	Priorité de défriche
Données	Statistiques issues des enquêtes*	Ø	Paramétrage par les utilisateurs
<b>EXPLOITATION</b>			
Paramètres	Nombre de champs (1 à 3) Taille des champs (4 à 13 ha) Voisinage (distance seuil) Groupe Familial (3 à 5)	Nombre de parcelles (5) Voisinage (territoire entier) Groupe Familial (3 à 5 exploitations)	Taille de l'exploitation (G/P) Niveau d'équipement Voisinage (distance seuil) Groupe Familial (3 à 5)
Dynamiques	Assolement, rotations	Rendement moyen	Attribution des stratégies
Données	Statistiques issues d'enquêtes*	Fonctions théoriques	Paramétrage par les utilisateurs
<b>AGRICULTEUR</b>			
Paramètres	Nombre de variétés (1 à 3) Mode d'essai (direct, échantillon, progressif) Choix initial des variétés	4 préférences pour chacune des caractéristiques des variétés Facteur d'impact des préférences Stratégie de remplacement (actif ou passif) Stratégie de recherche (idéotype ou pas)	Stratégie d'association de variétés Système de culture Stratégie de recherche de variété Nombre de variétés Base de connaissance variétés
Dynamiques	Essai d'une nouvelle variété tous les 10 ans avec 75% de chance de réussite Recherche de variétés dans le voisinage et/ou le Groupe Familial	Calcul de la satisfaction (préférences et rendements) Recherche d'une variété selon ses caractéristiques et /ou son poids (taux de présence et proximité)	Calcul d'un assolement selon climat et stratégies Recherche de variété dans le voisinage et/ou le Groupe Familial selon stratégie de recherche de variété
Données	Statistiques issues des enquêtes*	Fonctions théoriques caractérisant des types de stratégies observées	Caractérisation qualitative de stratégies observées

\*Les statistiques utilisées dans le modèle expert sont basées sur 3 zones géographiques : San, Koutiala et Sikasso

**Tableau IIIb : Niveau de réalisme, paramètres et dynamiques pour les entités sociales et spatiales dans chacun des 3 modèles produits**

D'un modèle expert très réaliste, les modèles suivants ont gagné en abstraction, au fur et à mesure que le travail, réalisé avec les paysans lors des ateliers du jeu, amenait à affiner les hypothèses et à réduire les variables de description du système (tab. IIIa et IIIb). Lors de l'atelier de présentation du 3<sup>ème</sup> modèle, cette montée en abstraction a permis aux paysans de se détacher de la réalité de leur propre rôle pour s'interroger sur le processus de prise de décision et la diversité des pratiques de gestion pour l'émergence d'une biodiversité, considéré comme un bien commun. On était alors dans le cas d'une réalité implicite : le modèle est basé sur une simplification réaliste des catégories d'acteurs, des ressources et des configurations spatiales rencontrées dans la réalité, dont la seule contrainte est d'être reconnue légitime par les joueurs.

## Résultats

### *Des enquêtes de terrain...*

La pluviométrie du Mali diminue du sud vers le nord si bien que l'agriculture pluviale comporte un risque de sécheresse qui est intégré aux stratégies paysannes. Le sorgho est

cultivé du sud du Mali jusqu'à la fin de la bande sahélienne sous environ 500 mm de pluviométrie annuelle. Partout, les agriculteurs ont gardé de multiples races locales qui ont comme caractéristiques communes leur adaptation aux conditions écologiques localisées et le calage de leur cycle avec le microclimat de la zone géographique (Vaksmann *et al.*, 1996). C'est le photopériodisme qui permet l'ajustement du cycle de la plante à la durée probable de la saison des pluies en permettant une grande souplesse dans les dates de semis. La priorité du paysan reste la satisfaction de ses besoins alimentaires et il fait évoluer son système de culture tout en maintenant une surface globale de céréales apte à satisfaire cet objectif. Ainsi, la part du maïs, plus productif mais moins résistant à la sécheresse, augmente dans les assolements en progressant vers le Sud. Dans le nord, les paysans valorisent simultanément la diversité des longueurs de cycles des variétés et la rusticité du sorgho pour gérer le risque. Il sème ainsi plusieurs variétés de sorgho chaque année sur des sols différents (Dembélé et Koné, 2003). Les exploitations agricoles se différencient en fonction de leur taille (surface et main d'œuvre disponible) et du niveau d'équipement (Criado, 2002 ; Patetsos, 2003). La combinaison de ces deux facteurs de production fait que l'appréhension du risque diffère entre les types d'exploitations et détermine des stratégies différentes où la diversité variétale n'occupe pas la même place. L'élaboration de référentiels locaux de la culture du sorgho (Bazile *et al.*, 2003a) nous a permis de préciser les pratiques paysannes relatives à la culture du sorgho avec notamment les itinéraires techniques culturels par zone pour aborder la prévision de l'aire de diffusion des variétés locales ou améliorées (Soumaré, 2004). Au-delà d'une connaissance agronomique approfondie du sorgho, des indicateurs sur les systèmes de cultures à base de sorgho ont été développés avec une analyse économique sur le coût d'opportunité maïs-sorgho (Bazile et Soumaré, 2003b ; Bazile *et al.*, 2004). Malgré la sécheresse, les variétés photopériodiques occupent toujours une place prépondérante dans les systèmes car elles s'adaptent aux conditions aléatoires de culture. A l'opposé, les variétés à cycle court sont spécifiques à quelques systèmes de culture au Mali ; elles ne correspondent donc pas à des variétés à large adaptation géographique. Dans les stratégies paysannes, la gestion du risque l'emporte sur les besoins d'intensification. C'est pourquoi dans la connaissance de l'agrobiodiversité, le nombre de variétés gérées dans l'exploitation et l'identification de la dynamique de remplacement constituent un pas pour l'identification des méthodes de conservation de la biodiversité (Bazile et Soumaré, 2004; Bazile *et al.*, 2005c).

### **... à la formalisation du modèle expert**

Afin de mettre en relation les nombreux résultats issus des enquêtes, le modèle multi-agents « expert » intitulé « SorghoMali » a été développé pour représenter au sens large l'environnement des paysans : les différentes entités du territoire et la structure sociale des paysans. Le modèle introduit certaines stratégies paysannes élaborées à partir de typologies mais la dynamique existante s'appuie uniquement sur des changements de variétés basés sur des valeurs statistiques (Bazile *et al.*, 2005 a et b). Le modèle expert a servi d'intégrateur pour des disciplines diverses et permis de préciser les paramètres d'entrée nécessaires (disponibles ou à rechercher) pour caractériser le système semencier. La réflexion autour de l'organisation de ces données a contribué à la création d'un état initial de référence « modulable » qui permettra par la suite de paramétrer les spécificités environnementales ou structurelles des exploitations agricoles selon les zones géographiques du Mali. La validation de cet état initial avec les partenaires de la recherche malienne montre que l'abstraction proposée avec l'interface spatiale du modèle est facilement appropriable par des non spécialistes de l'informatique. Le modèle expert est suffisamment proche de la réalité pour que ce lien soit évident.

Par contre en plus de sa lourdeur, le modèle expert reste statique et il est nécessaire d'implémenter des règles de dynamique pour pouvoir réaliser des simulations sur des scénarios simplifiés de circulation des variétés autour des cas suivants :

- pas d'introduction extérieure
- accès par proximité spatiale des champs
- accès aux pools de variétés des groupes familiaux
- connaissance des personnes ressources

### ***Des lacunes du modèle expert au premier jeu de rôle***

C'est après avoir identifié les lacunes du modèle expert sur le remplacement des variétés que des enquêtes spécifiques ont été conduites sur le premier semestre 2005 pour hiérarchiser les critères de choix des variétés et les modalités du changement. Ce dernier intervient aussi bien pour des raisons propres à l'exploitation qu'extérieures à celle-ci, et ces raisons ne sont pas toujours liées à un échec. La curiosité et la volonté d'améliorer la productivité poussent certains paysans à tester régulièrement de nouvelles variétés sans pour autant noter d'échec sur leurs précédentes cultures. Le climat est le plus souvent à l'origine du changement de variété (aléas brusque ou continuum dans la péjoration climatique) mais des modifications de la stratégie agricole de l'exploitation peuvent également être impliquées ; par exemple le développement de la culture du maïs dans le sud du Mali. Enfin, l'introduction d'une nouvelle variété ne prend pas forcément la forme d'un test sur plusieurs années.

Le premier jeu de rôle a été construit sur la base d'une nouvelle représentation du système incluant ces aspects dynamiques. Selon l'arrivée des pluies, les paysans devaient choisir des variétés de sorgho selon les critères de description utilisés lors des enquêtes afin de réaliser un objectif de production correspondant aux besoins alimentaires de leur famille. En fonction des rendements obtenus, calculés par des abaques simplifiés, les paysans étaient libres d'échanger des semences entre eux. Cet objectif de production détermine le choix des cultures dans l'assolement, mais les contraintes de travail liées à la structure de l'exploitation conditionnent les surfaces par culture et les variétés semées. Ainsi, il est indispensable de considérer l'ensemble des cultures –céréales, bien sur, mais aussi les autres-, pour comprendre le choix des variétés de sorgho. La simplification du système de culture lors du jeu a trop contraint les paysans ce qui les a conduit à modifier leurs règles de décision. La gestion indépendante du parcellaire par année a ainsi amputé le paysan des choix relatifs à la succession des cultures sur une parcelle (rotation) et de ses implications sur le choix des variétés de sorgho.

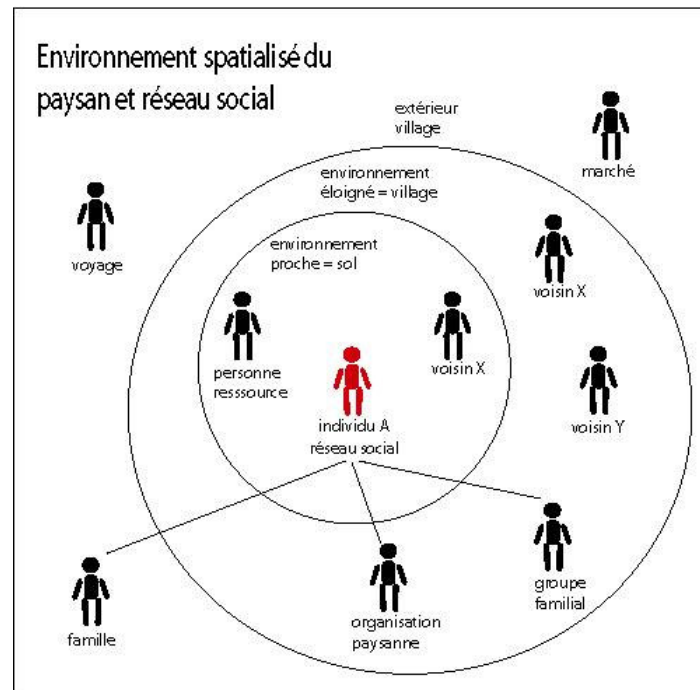
Parmi les résultats du premier jeu de rôle, nous en retiendrons deux principaux qui ont alimenté notre démarche de modélisation d'accompagnement par la suite :

- le comportement du paysan pour la décision de changement de variété peut reposer sur un processus d'évaluation propre ou sur un processus d'imitation des voisins que nous avons implémentés dans le modèle DIVA ci-après;
- l'hypothèse de trois stratégies distinctes d'association des variétés au sein de l'exploitation sur laquelle a été construite un module du troisième SMA.

### ***Le modèle abstrait DIVA***

Le SMA « DIVA » (pour DIVERsité Variétale) représente la gestion paysanne de la biodiversité dans un modèle de décision simple, déconnecté de l'environnement réel (Tryphon-Dionnet, 2005). Il a pour objectif de tester les conséquences à un niveau global de la somme de décisions individuelles relatives au choix de variétés selon deux processus d'évaluation ou d'imitation. La portée théorique du modèle repose sur la question de la diffusion d'une innovation, la variété dans notre cas, grâce à la communication entre les

individus. L'échange d'information a été simplifié à deux types de réseaux : un réseau géographique, correspondant à l'environnement physique du paysan, et un réseau social, correspondant à l'univers social propre à chaque paysan (figure 3). Le réseau social permet à des individus géographiquement éloignés d'échanger des informations qu'ils ne pourraient pas ou rarement échanger avec leur entourage proche. Il est contraignant, dans le sens où il est prioritaire sur la distance qui sépare deux individus.



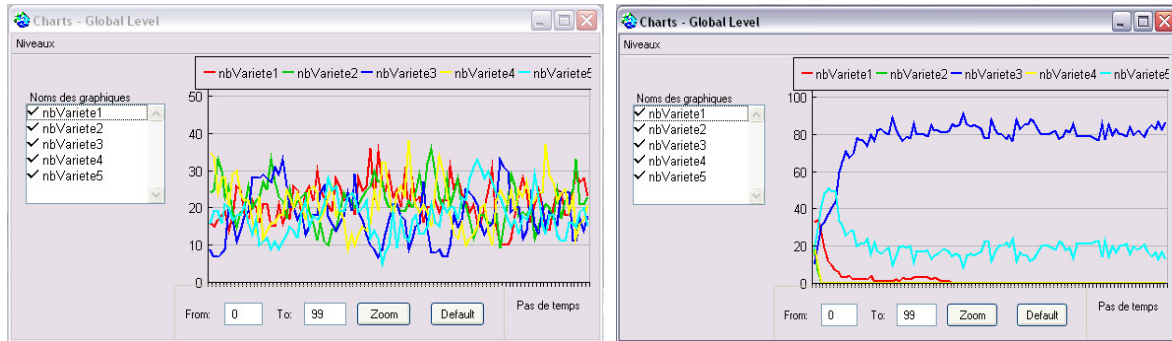
*Plus les individus sont éloignés de l'individu A, plus la chance qu'ils communiquent diminue, sauf s'ils appartiennent au réseau social de l'individu A dans quel cas leur chance de communiquer est fonction du lien les unissant.*

*Figure 3. Réseaux d'échange d'information entre individus*

Ces deux réseaux permettent de définir pour chaque paysan une occurrence d'accès aux autres variétés que les siennes, cultivées par des individus avec lesquels il échange de l'information. Peu importe s'il se déplace ou si les autres viennent à lui, l'important est que de nouvelles variétés apparaissent dans son champ de vision et deviennent ainsi disponibles s'il décide de changer de variété selon les deux comportements archétypaux décrits ci-après :

- Les paysans passifs ne recherchent pas activement de variétés mais fonctionnent sur un mode d'imitation. Les variétés introduites sont celles qui sont le plus cultivées autour d'eux. On peut considérer que cela correspondrait à une « rumeur positive » sur une variété qui induirait naturellement une dynamique de diffusion. Dans DIVA, les agents imitent leurs voisins en tirant au hasard, à chaque pas de temps, une variété du village en fonction de son importance relative dans leur réseau. Plus la variété est cultivée autour d'eux, plus ils ont de chance de la choisir.
- Les paysans actifs sont sans cesse à la recherche d'un « idéotype » de variété. Le paysan prend alors un risque pour introduire une variété dans son exploitation sans référence sur celle-ci dans son voisinage. Dans DIVA, les agents doivent évaluer le niveau de production de leurs parcelles à chaque pas de temps et lorsque les résultats

sur leur(s) variété(s) semée(s) ne leur conviennent pas, ils choisissent une nouvelle variété en fonction de leurs préférences.



*Figure 4. Analyse de sensibilité du modèle DIVA sur 2 scénarios*

à gauche : 100 % des paysans suivent la stratégie passive d'imitation ;

à droite : 100 % des paysans suivent la stratégie active d'évaluation.

La stratégie passive d'imitation aboutit à une situation d'équilibre dans laquelle aucune variété ne semble prendre le dessus sur les autres. A l'opposé, la stratégie active d'évaluation aboutit très rapidement à un équilibre dans lequel une variété prend le dessus sur les autres. La diversité globale du système chute très vite et seules deux variétés se maintiennent dans le système avec l'une qui représente 80% des surfaces semées. Nous pouvons souligner la puissance de l'outil de modélisation qui, avec des règles très simples de décisions des agents dans leur environnement, donne la possibilité de produire des situations qui seraient très difficilement prévisibles et caractérisables par une approche mathématique classique. L'aspect pédagogique de l'exploration de différents scénarios de simulations est tout aussi important. Ainsi, lorsque tous les agents fonctionnent sur un mode « rationnel » d'optimisation, la plupart des variétés disparaissent. En revanche, s'ils suivent une stratégie passive d'imitation (« irrationnelle » ?), toutes les variétés se maintiennent. Dans notre cas, nous ne cherchons pas à valider la réalité des règles introduites dans le modèle mais plutôt à les utiliser pour discuter du type de comportement qu'elles illustrent. Ainsi, on s'intéresse plus à l'impact d'une introduction sur la biodiversité au niveau global qu'au fait qu'une variété prenne le dessus sur les autres.

### ***Une décomposition du système en 3 modules***

La particularité du système semencier comme tout système complexe fait qu'il est difficile de comprendre les effets d'une règle tant les éléments en jeu sont en inter relation. La désagrégation de notre représentation du système semencier permet de les analyser progressivement dans des sous-systèmes en éliminant volontairement au départ certaines relations. Chaque contexte de décision particulier a fait l'objet du développement d'un module indépendant au sein du troisième modèle SMA afin de le situer à un niveau de complexité accessible aux paysans (Abrami *et al.*, 2005). Le modèle est structuré en trois modules :

- La composante système de culture avec une articulation de la structure de l'exploitation avec les choix cultures/variétés ;
- La quête du fournisseur ;
- Les stratégies d'association de variétés.

Les hypothèses issues du jeu 1 permettent de formaliser les dynamiques du module « stratégies d'association de variétés ». Dans le jeu 2, les paysans devaient établir leur assolement annuel en tenant compte des rotations et des contraintes climatiques, puis évaluer



collégialement la réussite des stratégies mises en œuvre. Lors du jeu 3, les paysans devaient chercher des semences en fonction d'événements marqués, alors que certains d'entre eux représentaient des rôles particulier dans le village et que les animateurs jouaient le rôle de fournisseurs extérieurs. Les résultats des jeux de rôles 2 et 3 alimentent les modules « système de culture » et « quête du fournisseur ».

### ***Complémentarité des approches : du jeu au SMA***

Les différents jeux ont permis d'améliorer notre connaissance sur le système semencier et, d'implémenter immédiatement les nouveaux résultats dans le modèle en construction permanente. Le tableau IV récapitule le retour des paysans sur l'exemple précis de la caractérisation des pratiques culturelles du système de culture en fonction des types de systèmes de production identifiés (JdR2). Sans acquérir de connaissances vraiment nouvelles, le jeu nous permet de bien remettre les hypothèses et résultats déjà acquis sous forme de relations cohérentes. Ainsi, la gestion des variétés selon les types d'exploitation est déterminé par deux facteurs principaux : la surface et le niveau d'équipement. C'est en effet la capacité de travail qui influence en premier lieu le calendrier agricole de l'exploitation et les choix variétaux qui en découlent. De la même façon, le jeu n°3 sur les fournisseurs potentiels de variétés a permis de valider notre structuration des exploitations avec les personnes ressources, les groupes familiaux, les petits et gros producteurs mais il a surtout mis l'accent sur l'environnement spatial et temporel qui favorise ces échanges.

thème	Résultats du jeu	Commentaires des paysans
Parcelle : assolements	Différentiation selon les sols : Différentiation selon les types d'exploitations Les grandes exploitations ont plus de coton, et ceci jusqu'à 40% des surfaces. L'accès à la fumure organique est un critère important de différenciation.	Peu significatif sous une même pluviométrie Critère décisif : rapport main d'œuvre sur équipement
Rotations : assolements	Rotation la + fréquente : coton / mil / sorgho Coton / maïs / sorgho seulement pour 10 %	Le pourcentage global de maïs dans le village explique qu'il revient moins souvent que les mils/sorghos derrière le coton.
	Rotations biennales : plus fréquentes sur les sols superficiels	Concentration de la matière organique sur les terres les plus pauvres.
	Rotations biennales : plus fréquentes dans les grandes exploitations parce qu'elles ont plus de coton	Validé comme une évidence puisqu'elles cultivent jusqu'à 40% de coton sans monoculture sur des parcelles
Rotations : variétés	Il n'y a pas de différence significative de variétés en fonction des rotations. Le précédent cultural n'est pas un critère essentiel de choix de variété.	On cultive les variétés disponibles dans l'exploitation quelle que soit la rotation. C'est la saison climatique et non le précédent cultural qui détermine les variétés. Certaines variétés plus exigeantes valorisent mieux la fumure apportée sur coton.
Parcelle : variétés	Certaines variétés sont mieux adaptées à certains types de sols. On retrouve les mêmes schémas sur Mil que sur Sorgho.	Les variétés sont rustiques et l'exigence écologique n'est pas stricte. Il n'y a pas un équilibre au sein de l'exploitation sur le nombre total de variétés mil plus sorgho.
	Les gros paysans visent le rendement alors que la stabilité est recherchée ailleurs.	Variétés différentes et moins nombreuses chez les Gros Paysans où il y a toujours 1 variété qui domine en pourcentage.

*Tableau IV : Discussions avec les paysans lors du jeu de rôle n°2*

C'est pourquoi le partage et l'appropriation de nos objectifs a posteriori par les paysans pendant le débriefing sont nécessaires pour leur donner les moyens de critiquer, sur le fond et la forme, les outils développés au regard des résultats attendus et obtenus. Ainsi, la critique de la construction du jeu 3 a montré que la structuration du temps proposé pour les échanges de semences entre paysans ne permettait pas d'aboutir aux résultats escomptés. En soumettant à la fois nos outils à la critique et nos résultats à la réfutation, nous nous engageons réellement dans une co-construction sur la base d'un partenariat équitable. Ces échanges nous ont alors permis de spécifier trois cas particuliers relatifs à la recherche d'une variété qui déterminent des cheminements différents pour l'accès à la semence recherchée :

- recherche de la quantité nécessaire d'une variété pour semer toute sa parcelle ;
- recherche d'un type de variété précis connu sur village (même si peu de semence) ;
- recherche d'une variété nouvelle (idéotype) non connue qu'il faudra expérimenter.

Le premier cas s'applique principalement après une catastrophe où le paysan doit renouveler toute sa semence. Il ira s'approvisionner en priorité chez les gros paysans où il sera sûr d'avoir la quantité de semence désirée. Les deux cas suivants correspondent à la recherche de semence sur un critère de qualité connu ou théorique. Le paysan recherche initialement une faible quantité qu'il pourra multiplier par la suite sur son exploitation si le résultat du test (cas 3) est probant. Dans tous les cas, la recherche de semences débute dans des réseaux dont le paysan est membre (famille, organisation paysanne, voisinage, etc.). A l'intérieur ou à l'extérieur de ses réseaux, le paysan s'adresse à des exploitations reconnues sur certains rôles dans les échanges : gros producteur, personne ressource, chef de village, etc.

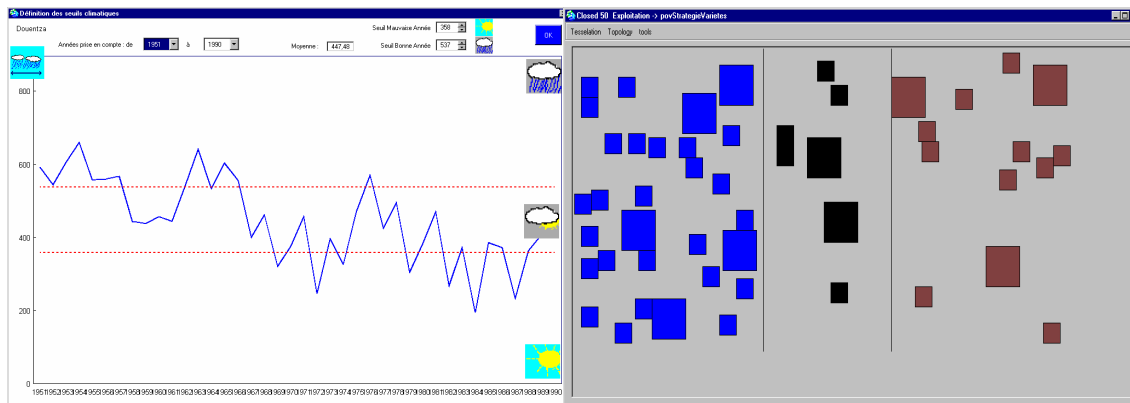
### ***La construction du modèle autour des 3 modules du système***

Les hypothèses validées lors des séances de jeu sont utilisées directement pour informer chacun des modules du 3<sup>ème</sup> modèle SMA. L'objectif de ce modèle est de pouvoir travailler indépendamment sur chacun des trois aspects de la prise de décision des paysans. Les trois modules peuvent fonctionner ensemble, ou bien il est possible de ne s'intéresser qu'à 1 ou 2 d'entre eux. Dans ce cas, là, un comportement est défini par défaut dans le modèle pour les modules non utilisés. Ce modèle présente un niveau d'abstraction supérieur au modèle expert car il vise à faire discuter des paysans issus de différentes régions. Cette abstraction se traduit par une qualification qualitative des paramètres descriptifs du modèle (climat, types de variétés, gains, types de sols, taille et équipement des exploitations). Une simulation permet d'observer la dynamique d'occupation des variétés dans un village avec un pas de temps annuel. Le climat simulé est construit à partir de séries climatiques historiques sur les régions d'origine des paysans et caractérisées qualitativement par leurs soins en début de session. Selon l'année climatique, les agents paysans déterminent leur assolement (module système de culture ; par défaut valeurs moyenne sur la région) et les variétés qu'ils sèment (module association de variétés; par défaut choix d'une variété moyenne). Des gains traduisent le niveau de rendement obtenu. Selon les gains obtenus et leur stratégie définie de renouvellement des semences, les agents paysans peuvent changer de variété. Ils recherchent alors des semences dans le village, ou bien s'adressent à des fournisseurs extérieurs.

Durant l'atelier de présentation du modèle, la détermination de ce que représentent les caractéristiques qualitatives (climat, gain) a été laissée à l'appréciation des paysans et portée à la discussion par le biais d'exercices de mise en situations accompagnant la présentation du modèle. Un soin particulier a été porté à l'interface du modèle afin que les caractéristiques discutées et reconnues par les paysans puissent y être introduites de manière transparente et que les sorties soient facilement lisibles pour eux. Les exercices de mise en situation utilisaient une interface similaire à celle du modèle informatique. Le passage entre les deux types d'outils n'a alors posé aucun problème, et cette ressemblance a facilité l'appropriation par les paysans du SMA.

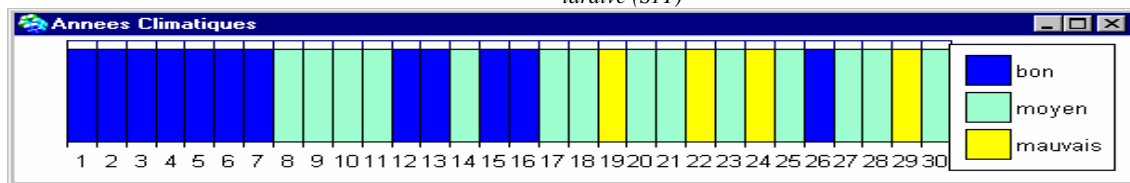
### ***L'appropriation du modèle par les paysans***

La construction d'un modèle sur la base de modules mis en situation dans des JdR facilite l'appropriation de ce modèle par les paysans. Nous pouvons illustrer ce propos en montrant comment les paysans participent au paramétrage du modèle pour leur région. A titre d'exemple, le module « association des variétés » a été construit en simplifiant la réalité du choix des variétés de sorgho à trois types, précoce, moyen et tardif, en fonction du calage de la maturité des panicules avec la fin de saison des pluies qui peut être bonne, moyenne ou mauvaise. C'est sur ce dernier point que le paysan travaille avec nous sur le calibrage du modèle pour sa région. L'ordinateur dispose de séries climatiques sur 40 ans qui permettent de présenter une courbe des précipitations annuelles. Le travail se fait spécifiquement sur une zone (fig. 5), et les paysans d'autres régions réagissent s'ils ont un mode de raisonnement différent. La première étape consiste à restreindre la fenêtre climatique aux années de référence en leur demandant de situer les bonnes et les mauvaises années qui leur servent encore aujourd'hui de référence pour estimer si l'année a été bonne ou mauvaise. Nous pouvons alors limiter l'affichage aux 10 ou 20 dernières années. Ensuite sur les années restantes, le paysan doit désigner les bonnes et les mauvaises années en se référant aux événements de son village qui lui permettent de situer les années les unes par rapport aux autres. Nous déplaçons alors la limite des bonnes et mauvaises années avec un curseur (ligne rouge horizontale) que l'on ajuste aux dires des paysans. La simulation du gain pour une stratégie donnée permet de visualiser immédiatement des résultats sur un nombre d'année défini et de tester la robustesse du modèle, puis d'explorer et de comparer des stratégies entre elles.



Calibrage des années climatiques

Matérialisation des exploitations selon les trois stratégies S1 avec une seule variété précoce (S1P), moyenne (S1M) ou tardive (S1T)



Succession des années climatiques sur les 30 années de la simulation

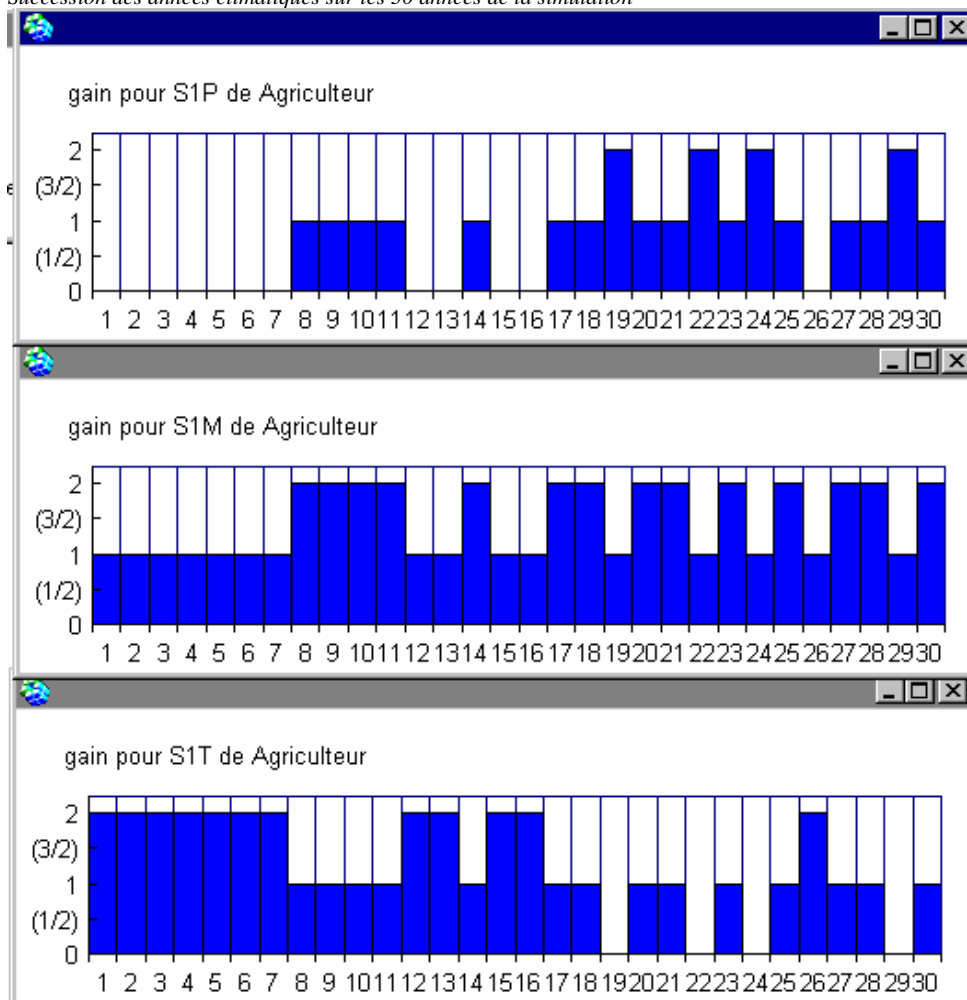


Figure 5. Calibrage des saisons des pluies et simulation des gains sur 30 ans (Douentza)

Prenons maintenant l'exemple du module « système de culture ». Les jeux 2 et 3 s'appuyaient sur plusieurs résultats d'enquêtes : d'une part le morcellement d'une exploitation sur plusieurs sols augmente le nombre de variétés de sorgho cultivées dans l'exploitation et, d'autre part la taille et le niveau d'équipement sont les déterminants de la structure des exploitation qui influencent en premier lieu le choix des variétés. Les facteurs de production étant ainsi fixés, l'ajustement se fait sur le choix des cultures et des variétés pour établir un assolement donné en fonction de l'année climatique. Même si les critères qui fixent les seuils entre grandes et petites exploitations, équipées ou non, diffèrent d'une région à l'autre, ce schéma reste valable quelle que soit la zone climatique. Grâce à l'articulation du SMA en modules, il est possible d'appliquer une stratégie particulière à une structure d'exploitation donnée (fig. 6). La simulation sur un certain nombre d'années permet alors de suivre les résultats de chaque agriculteur dans une stratégie particulière ou de se placer à l'échelle du village pour visualiser l'effet de la diversité des stratégies à un niveau plus global. C'est à ce niveau que la dynamique des variétés est suivie et analysée au travers des rôles joués par chaque type de paysan.



*Figure 6. Distribution des structures d'exploitations dans un village et implémentation des stratégies d'association de variétés (cas de San)*

## Conclusion et perspectives : vers l'émergence de nouvelles règles de gestion

L'organisation des différentes sessions de jeux de rôles montre qu'il s'agit d'un outil bien adapté pour valider des hypothèses ou des résultats acquis par ailleurs et permettre de les contredire. La synthèse des données collectées et sa formalisation dans un jeu est apparue comme une étape nécessaire pour partager notre représentation du système semencier avant d'aborder le modèle. Une bonne connaissance du terrain, et de ses protagonistes, facilite l'organisation du jeu mais aussi les modalités de son observation qui ne prennent sens qu'à la lumière des connaissances précédemment acquises sur le terrain. Néanmoins, le jeu peut aussi parfois être utilisé pour construire ensemble l'information de base, nous sommes alors dans un processus de co-apprentissage. Le Jeu de Rôle permet une bonne mise en situation des paysans pour partager notre représentation de leur système informel d'échange de variétés. Pourtant la formalisation dans un jeu des connaissances acquises par diverses enquêtes est très lourde en temps de travail à la fois pour la calibration du jeu et la préparation du débriefing sur la base d'hypothèses simples. Mais, les paysans apprécient beaucoup l'aspect de mise en scène de leurs pratiques dans le jeu de rôle qui favorise par la suite des discussions plus étroitement connectées à la réalité. Même si des contraintes ont été soulevées sur la mise en œuvre des jeux, il apparaît qu'ils demeurent dans notre cas un passage obligé pour passer à l'étape suivante et aborder le modèle multi-agents de façon sereine. En effet, les modèles informatiques isolés sont souvent illisibles et considérés comme des « boîtes noires » c'est pourquoi il est difficile de communiquer autour d'eux. Leur usage conjoint avec les jeux de rôle permet d'une part, de rendre intelligible des modèles conceptuels lourds sous une forme ludique et d'autre part, d'accélérer le déroulement des jeux (reproduction des résultats sur le long terme) ou d'explorer de nouveaux scénarios en effectuant des simulations. Une synergie peut ainsi être créée qui renforce mutuellement l'utilisation de ces deux outils (Barreteau, 2003).

Enfin, la finalité à moyen terme de la simulation multi-agents est de l'utiliser pour favoriser l'émergence de nouvelles règles favorables au maintien de la diversité des variétés de céréales. Ainsi, les organisations paysannes participent de plus en plus à l'approvisionnement en semences améliorées de leurs adhérents et accélèrent le rythme des échanges. On risque alors de perdre la résilience du système semencier traditionnel et d'accélérer l'érosion variétale si une sensibilisation n'est pas conduite auprès des leaders paysans qui disposent d'une très forte reconnaissance locale. L'organisation d'un atelier début 2007 avec tous les acteurs de la filière semencière malienne donne la perspective de pouvoir faire évoluer ce système informel pour prendre en compte de façon explicite un objectif de maintien de la diversité variétale *in situ*. Les modèles multi-agents développés jusque-là serviront à simuler les rôles actuels relatifs aux flux de variétés et de nouveaux à tester pour le futur. Le modèle, déjà accepté comme une représentation valide par les paysans, les organisations paysannes, les ONG et la recherche, permettra de discuter immédiatement de la modification des rôles de chacun sur le système avec tous les acteurs impliqués dans la gestion des semences et de s'accorder sur les règles favorables au maintien de la diversité variétale du sorgho.

## Bibliographie

ABRAMI, G., BAZILE, D., LE PAGE, C., DEMBELE, S. et DIONNET, M., 2005. Preparing a framework for participatory modelling of farmers seed systems in Mali: varieties selection and exchange. In: ESSA (Ed.), *The third annual conference of the European Social Simulation Association*. ESSA, Koblenz-Landau University on September 5–9, 2005, 7p.

ALMEKINDERS, C.J.M., LOUWAARS, N.P. and BRUIJN, G.H.d., 1994. Local seed systems and their importance for an improved seed supply in developing countries. *Euphytica*, 78, pp. 207-216.

ALMEKINDERS, C.J.M. et LOUWAARS, N.P. 2002. The importance of the farmer's seed systems in a functional national seed sector. *Journal of new Seeds*, 4/1-2, pp. 15-33.

ANTONA, M. et al., 2003. Our Companion Modelling Approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6-1, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/1.html>.

BARRETEAU, O., 2003. The joint use of role-playing games and models regarding negotiation processes: characterization of association. . *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6-2, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/3.html>.

BAZILE, D., et al., 2003a. Stratégies paysannes de valorisation de la biodiversité du sorgho. Cas du Mali. In: P. Dugué and P. Jouve (Ed.), *Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux*. Actes du colloque international, 25-27 février 2003, Montpellier, France. CIRAD-CNEARC-ENGREF / UMR-SAGERT, Montpellier (France), pp. 635-650.

BAZILE, D. et SOUMARE, M., 2003b. La valorisation de l'agrobiodiversité pour assurer une production agricole durable. Le cas du sorgho dans la zone cotonnière de Koutiala au Mali. In: ICRISAT and IPALAC (Ed.), *International Symposium for Sustainable Dry land Agriculture Systems*, ICRISAT Sahelian Center, December 2-5, 2003. ICRISAT, Niamey (Niger), pp. 261-269.

BAZILE, D. et SOUMARE, M., 2004. Pratiques paysannes de gestion de la diversité variétale en réponse à la diversité écosystémique. Le cas du sorgho [*Sorghum bicolor* (L) Moench] au Mali. Étude Originale. *Cahiers Agricultures*, 13, pp. 480-487.

BAZILE, D., SOUMARE, M. et DEMBELE, J., 2004. Conserver l'agrobiodiversité pour la stabilité de la production agricole. In: FAO, GTZ, IDRC, CTA and STP/CIGQE (Ed.), *La biodiversité agricole en Afrique de l'Ouest. Situation actuelle, expériences et perspectives*. FAO, Atelier régional sur la biodiversité agricole tenu à Bamako (Mali) du 15-19 décembre 2003., pp. 83-95.

BAZILE, D., DEMBELE, S. et LE PAGE, C., 2005a. Co-construction de règles collectives de gestion pour le maintien in situ de la biodiversité des céréales en Afrique de l'ouest [Poster]. In: IFB/UNESCO (Ed.), *Biodiversité, science et gouvernance*, Paris, 24-28 janvier 2005. Décider aujourd'hui pour vivre demain. Ministère délégué à la Recherche, Paris, France.

BAZILE, D., et al., 2005b. Perspectives of modelling the farmer' seed system for in situ conservation of sorghum varieties in Mali. In: J.B. Cunha and R. Morais (Editeurs), EFITA/WCCA 2005 Joint Conference: 5th Conference of the *European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and Environment* and 3rd World Congress on *Computers in Agriculture and Natural Resources*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, 25-28 July 2005, pp. 39-46.

BAZILE, D., STHAPIT, B.R. et DEMBELE, S., 2005c. How do communities provide seed system's resilience to maintain on-farm agrobiodiversity through social networks? Mali and

Nepal case studies (Contributed oral session 18, Agriculture and biodiversity II). In: DIVERSITAS (Ed.), *Integrating biodiversity science for human well-being*. First Diversitas OSC. 9-12 November, 2005. Oaxaca, Mexique. Diversitas-France (CD-Rom).

BOERMA, D. (Ed.), 2004. *Globally-important Ingenious Agricultural Heritage Systems*, GIAHS Project. Report of the Second International Workshop and Steering Committee Meeting. Rome, 7-9 June 2004. FAO, Rome (I), 30 p.

BOUSQUET, F. *et al.*, 2002. Multi-agent systems and role games: collective learning processes for ecosystem management. In M.A. JANSSEN (Ed.), *Complexity and ecosystem management*, Edward Elgar Publishing, pp. 248-285.

BOUSQUET, F. et LE PAGE, C., 2004. Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. *Ecological Modelling*, 176, pp. 313-332.

BROOKFIELD, H. (Ed.), 2001. *Exploring agrobiodiversity*. Issues, Cases, and Methods in Biodiversity Conservation Series. Columbia University Press, New York (USA), 348 p.

BROOKFIELD, H., *et al.*, M. (Ed.), 2002. *Cultivating biodiversity*. ITDG Publishing and United Nations University, London (UK), 292p.

CRIADO, A., 2002. *La pénétration du maïs dans les systèmes de cultures céréalières mil-sorgho de la zone Mali sud : analyse en terme de coût d'opportunité et impact sur la sécurité alimentaire*. DESS Economie agricole internationale, Université Paris Sud XI, Paris, 109 p.

DEMBELE, J. et KONE, K., 2003. *Analyse de la place du sorgho dans les stratégies d'allocation du foncier dans l'assolement : cas du village de Kaniko (Koutiala, Mali)*. Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université du Mali /FLASH, Bamako (Mali), 47 p.

FAO, 1999. *The state of the world of Plant genetic resources for food and agriculture* (PGRFA). FAO, Rome (I), 511 p.

FAO, 2001. *Le traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture*. FAO, Rome (I), 45 p.

PATETSOS, E., 2003. *Enjeux et perspectives pour les paysans de la zone cotonnière du Mali. Cas de la commune rurale de Sincina*. DESS Développement Agricole, INA Paris-Grignon - IEDES, Paris, 70 p.

SOUMARE, M., 2004. *Contribution à la prévision de l'aire de diffusion de variétés de sorgho au Mali. Couplage entre Modèle de Croissance des Cultures et Système d'Information Géographique*. DEA Géographie, Université de Nanterre, Paris X, 92 p.

TRYPHON-DIONNET, M., 2005. *Pour une gestion paysanne de l'agrobiodiversité : le cas du sorgho au Mali*. DESS Espace et Milieu, Université Paris 7 - Denis Diderot, Paris, 103 p.

UNEP, 1993. *Convention on Biological Diversity*. Text and Annexes. CBD/94/1. UNEP/CBD, Montreal, 34 p.

VAKSMANN, M., TRAORE, S.B. et NIANGADO, O., 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et Développement*, 9, pp.13-18.

WOOD, D. et LENNE, J.M. (Editeurs), 1999. *Agrobiodiversity: Characterization, utilization and Management*. CABI Publishing, Wallingford (UK), 490 p.

WOOLDRIDGE, M., 1999. Intelligent Agents. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. In: G. Weiss (Editor), *Multi-agents systems*. MIT Press, USA, pp. 27-77.